

Petrología aplicada a la Conservación del Patrimonio

R. Fort¹, M. Álvarez de Buergo¹, M.J. Varas Muriel², M. Gómez Heras², C. Vázquez-Calvo¹, P. López-Arce¹, L.S. Gómez¹, E. Pérez-Monserrat¹, D.M. Freire¹, A. Zornoza-Indart¹, M.I. Martínez-Garrido¹

¹ Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). c/ José Antonio Nováis 2, Facultad Ciencias Geológicas, 28040 Madrid, rafort@geo.ucm.es

² Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas UCM, 28040 Madrid

El grupo de Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio (PAP) está constituido por investigadores del CSIC y de la UCM, que pertenecen al Instituto de Geociencias. Este instituto, creado en 2011, es una transformación del antiguo Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), del cual procede este grupo de investigación con más de 25 años de experiencia en la conservación del patrimonio cultural, principalmente del patrimonio arquitectónico y arqueológico realizado en piedra. El grupo participa en los estudios previos y en los realizados durante la fase de ejecución del proyecto de diferentes intervenciones encaminadas a la restauración y conservación del patrimonio (www.conservacionpatrimonio.es).

La petrología es una disciplina básica para abordar cualquier tipo de intervención en la conservación del patrimonio realizado con materiales pétreos (Fort et al. 2008), denominados más recientemente *geomateriales*. Se entiende por geomaterial todo aquel material de origen geológico que tras un proceso de elaboración es utilizado en diferentes sectores, como en la ingeniería civil, edificación, materiales avanzados, conservación del patrimonio, medio ambiente, etc. De esta forma, se consideran como geomateriales, tanto a la piedra natural que son rocas extraídas de sus afloramientos geológicos, como a los morteros, ladrillos, adobes y tapiales, etc., que son elaborados con materias primas de origen geológico.

La intervención en el patrimonio construido con este tipo de materiales tiene que contar con un conocimiento profundo de sus propiedades petrológicas (propiedades petrográficas y petrofísicas), que permitan establecer las causas el grado de deterioro presente, así como las pautas más adecuadas a seguir para su conservación en base a la determinación de las causas responsables de su estado. Las propiedades de los geomateriales y la definición de su estado de conservación comienza por un estudio integral *in situ* de los materiales en su ubicación real, seguido de un estudio más detallado en el laboratorio, destacando el análisis petrográfico, con el que se determina la composición, microestructura y textura de los materiales y sus tipos de deterioro, basándose en técnicas microscópicas tradicionales, tales como la microscopía óptica de polarización y de fluorescencia, o la microscopía electrónica de barrido y de transmisión, o la microscopía RAMAN. La petrología aporta también conocimientos sobre las propiedades físicas de los geomateriales (petrofísica), lo cual posibilita establecer en muchos casos, las causas del deterioro en base al comportamiento mecánico, hídrico, dinámico, térmico, etc. La determinación de las propiedades petrofísicas de la superficie de los materiales aporta igualmente información muy relevante para conocer el

comportamiento de estos materiales ante ambientes agresivos, ya que la superficie es la interfaz de contacto con el exterior. Asimismo, la petrología, desde el punto de vista geoquímico y geocronológico, proporciona un apoyo inestimable para acometer actuaciones de conservación del patrimonio con el mayor rigor científico.

El grupo lleva a cabo estudios integrales en el patrimonio construido desde la caracterización de los materiales (piedra natural, morteros, recubrimientos, pátinas, etc.) y sus tipos de deterioro, pasando por la determinación de las causas que han generado esos deterioros, así como definiendo las técnicas de limpieza, consolidación y protección más adecuadas, según las propiedades de los materiales y los tipos de ambientes en los que se encuentren, tanto a nivel de microentorno - estructura, edificio, conjunto-, como a una escala mayor - entorno geográfico, zona urbana o rural, entorno ambiental, etc.

El grupo desarrolla diferentes líneas de investigación, muchas de ellas en colaboración con otros grupos pertenecientes a la que fue la Red del CSIC de Patrimonio Histórico Cultural (RTPHC-CSIC), transformada, mejorada y ampliada a la actual Red TechnoHeritage, persiguiendo la complementación entre los diferentes grupos. Esto ha permitido hasta el momento poder desarrollar de forma conjunta proyectos de investigación como “Tecnologías para la conservación y revalorización del Patrimonio Cultural” (Consolider TCP) y “Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio construido” (PRICYT). También ha participado conjuntamente en contratos de investigación y de apoyo técnico a empresas dedicadas a la conservación del patrimonio.

Miembros de este grupo forman parte de la Unidad Asociada del CSIC “Laboratorio de Petrología Aplicada” de la Universidad de Alicante y que a su vez son miembros de la Red TechnoHeritage.

El grupo es responsable del Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias, perteneciente a la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid (RedLab 217), y el único de dicha red que proporciona un servicio integral y especializado en conservación del patrimonio. Asimismo, el laboratorio tiene certificado de calidad en su gestión según la Norma ISO 9001:2008. Este laboratorio pertenece también a la Red de Laboratorios en Ciencias de Conservación del Patrimonio del Campus de Excelencia Internacional de Moncloa.

El equipamiento del que dispone permite abordar la práctica totalidad de los problemas relacionados con el deterioro y la conservación de los materiales pétreos, tanto del Patrimonio Histórico y Cultural como del Patrimonio Geológico localizado en parques naturales. Además de las técnicas petrológicas y petrofísicas tradicionales, el grupo tiene como prioridad el afianzamiento de las técnicas no destructivas o no invasivas y portátiles, tales como la técnica de la propagación de ultrasonidos, espectrofotómetro, esclerómetro, magnetómetro, termografía de infrarrojos, rugosimetría óptica 3D, fluorescencia de rayos X portátil, etc. También, en los últimos años se están empleando técnicas, que provienen de otras disciplinas científicas, están siendo de gran utilidad en el campo de ciencia de la conservación, como son la Microtomografía Computerizada de Rayos X (μ CT-XR), la Tomografía de Neutrones y la Resonancia Magnética Nuclear. En el primer caso (μ CT-XR), el grupo ha colaborado con la Universidad de Gante y actualmente, lo está haciendo con la Universidad de Bolonia, y en el último caso (RMN), se colabora con el CAI de RMN de la UCM.

Estas técnicas pueden ser muy eficaces para la caracterización no invasiva de los materiales y el conocimiento del comportamiento de productos de conservación.

El grupo tiene especial interés en la difusión social de sus investigaciones, habiendo desarrollado itinerarios científico-didácticos-patrimoniales que han sido muy bien acogidos por todos los estamentos de la sociedad, y que recibe el nombre de Rutas Geomonumentales.

<http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/rutas/geomonumentales>.

Líneas de investigación

Las principales líneas de investigación del grupo están dirigidas al conocimiento de los mecanismos de degradación de los materiales de construcción, especialmente los orientados a la conservación del patrimonio histórico, y sobre todo en ambientes agresivos, como aquellos en los que se producen procesos de cristalización de sales (Lopez-Arce et al. 2010), choque térmico, heladicidad, etc., así como aquellos sometidos a una intensa contaminación atmosférica, identificando las medidas preventivas y correctivas más adecuadas para evitar, disminuir o ralentizar sus procesos de deterioro asociados. También se abordan acciones preventivas por riesgos naturales o provocados como es el caso de incendios y, en general el efecto de la temperatura (Gomez-Heras et al. 2008) (insolación, fuego, rayos, sistemas de calefacción) tanto sobre los geomateriales como sobre el propio patrimonio. De hecho, constituye una de las líneas más activas del grupo, con establecimiento de un nuevo escenario de este tipo de riesgos ante el cambio climático. Estas nuevas condiciones medio-ambientales, a las que se enfrentan los geomateriales, pueden favorecer los episodios de fatiga y por consiguiente, el acortamiento de su vida útil. Aspecto relevante, es el desarrollo por parte de este grupo de un proyecto de investigación innovador (MICINN CGL2010-19554), consistente en valorar los efectos de distintos sistemas de climatización en edificios eclesiásticos con culto, y donde, de forma periódica y repetitiva, se producen cambios en las condiciones medioambientales internas del recinto. En esta línea, el grupo está desarrollando, en colaboración con grupos de investigación del CEI-Moncloa, la mejora y desarrollo de una red inalámbrica de sensores, tanto de parámetros microclimáticos como de contaminación atmosférica, siendo el aspecto innovador la disminución del impacto frente a otros sistemas de medida. Del mismo modo, en colaboración con el Museo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Instituto de Química-Física Rocasolano (CSIC), el Instituto de Estructura de la Materia (CSIC) y la Universidad Carlos III, se está trabajando en la caracterización multidisciplinar de fulguritas, materiales resultantes del impacto térmico de los rayos sobre la tierra.

El deterioro y la durabilidad de los geomateriales expuestos a de ambientes diferentes al subaéreo (subacuático y de enterramiento) es otra líneas en las que se ha comenzado a trabajar en los últimos tiempos, en colaboración con el Laboratorio de Ensayos, Corrosión y Protección de la Universidad de Cádiz, así como con el Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, tanto sobre piedra natural (calizas, mármoles) como artificiales (cerámicas).

Otras líneas a destacar del grupo lo constituyen la localización de canteras históricas de las que se abastecieron los monumentos, así como la evaluación de

las técnicas de limpieza y de los tratamientos de consolidación y protección de la superficie de la piedra de construcción. En este sentido, ha propuesto una metodología sencilla y rápida para valorar la efectividad e idoneidad de los tratamientos de protección en los monumentos (Álvarez de Buergo y Fort 2001), permitiendo la selección del tratamiento más adecuado a las características petrológicas-petrofísicas de los materiales a conservar.

Desde 2009 el grupo está investigando la idoneidad de nuevos tratamientos basados en nanopartículas, habiendo obtenido resultados muy interesantes y prometedores hasta la fecha, fundamentalmente en lo que se refiere a nanopartículas de hidróxido cálcico para la consolidación de materiales pétreos carbonatados (Lopez-Arce et al. 2011), y colaborando en el campo de nanopartículas y nanomateriales aplicados a la conservación de materiales pétreos del patrimonio con el Institute of Technical Sciences de Serbia, el grupo de Tecnología de Polvos de la Universidad Carlos III, el Instituto Eduardo Torroja (CSIC) y el grupo de Tamices Moleculares de la Universidad de Cádiz. El grupo lleva bastantes años trabajando en el estudio y análisis de las pátinas tradicionales e investigando como reproducirlas, siendo éstas recubrimientos antiguos aplicados intencionadamente en el pasado sobre materiales pétreos con fines estéticos y/o protectores (Vazquez Calvo et al. 2007).

Agradecimientos:

A los programas Geomateriales (S2009/MAT-1629) y CONSOLIDER-TCP (CSD2007-0058) y a la financiación de Grupo de Investigación de la UCM, "Alteración y Conservación de los Materiales Pétreos del Patrimonio" (ref. 921349).

Referencias

- Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2001) Basic methodology for evaluating and selecting water-proofing treatments applied to carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings* 43, 258-266.
- Fort R., García del Cura M.A, Varas, M.J., Bernabéu A., Álvarez de Buergo M., Benavente D., Vázquez-Calvo C., Martínez-Martínez, J., Pérez-Monserrat E. (2008) La petrología: una disciplina básica para el avance en la Investigación y conservación del patrimonio. En: *La investigación sobre Patrimonio Cultural*, C. Saiz y M.A. Rogerio (eds) Ed. Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, 217-239,270.
- Gómez-Heras, M., McCabe S., Smith B.J., Fort R. (2009) Impacts of Fire on Stone-Built Heritage: An Overview. *Journal of Architectural Conservation*, 2 (15) 47-59
- López-Arce, P., Varas Muriel, MJ., Fernández-Revuelta, B. Álvarez de Buergo M., Fort R., Pérez-Soba, C. (2010) Durability of granites from the region around Madrid, Spain, exposed to the salt crystallization test: intra- and inter-granular surface roughness quantification. *Catena* 83, 170-185.
- López-Arce, P., Gómez, LS, Pinho, L., Fernández-Valle, ME. Álvarez de Buergo M., Fort R. (2010) Influence of porosity and relative humidity in the consolidation of dolostone with calcium hydroxide nanoparticles: Effectiveness assessment with non destructive techniques. *Materials Characterization* , 61 (2): 168-184
- Vázquez-Calvo, C., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2007) Overview of recent knowledge of patinas on stone monuments: the Spanish experience. En: *Prikryl, R. y Smith, B. (eds). Building Stone Decay: from Diagnosis to Conservation. The Geological Society of London. Special Publications. Londres. Volumen 271, 295-307.*